

PENGUKURAN THORON (^{220}Rn) DI UDARA DALAM RUANGAN SECARA KONTINU MENGUNAKAN PYLON MODEL WLx

Hasnel Sofyan

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jln. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440
e-mail : hasnel_s@batan.go.id

ABSTRAK

PENGUKURAN KONSENTRASI THORON (^{220}Rn) DI UDARA DALAM RUANGAN SECARA KONTINU MENGGUNAKAN PYLON MODEL WLx. Konsentrasi thoron (^{220}Rn) pada lokasi tertentu lebih besar dari pada radon (^{222}Rn), namun keberadaannya selalu terabaikan. Hal ini disebabkan oleh kesulitan dalam kalibrasi dan diskriminasi antara radon dengan thoron. Dari model biokinetik dan dosimetrik, kontribusi dosis efektif thoron terlihat dominan pada paru-paru. UNSCEAR memperkirakan dosis thoron berkontribusi antara 5–10% dosis tahunan yang diterima masyarakat umum dengan tingkat risiko 4,4 kali lebih besar dari radon. Oleh karena itu perlu dilakukan studi untuk mengetahui nilai konsentrasi thoron di udara dalam rumah dan tempat kerja. Konsentrasi radon-thoron di udara dalam ruangan dapat diketahui dengan metode langsung menggunakan alat Pylon Model WLx dan metode pasif menggunakan detektor SSNTDs (*Solid State Nuclear Track Detector*). Pengukuran thoron pada penelitian ini dilakukan dengan alat Pylon Model WLx yang sensitif terhadap radon secara kontinu selama 24, 65, 72, 116 dan 154 jam dalam ruangan yang berbeda-beda. Hasil pengukuran memperlihatkan nilai rerata konsentrasi *working level* thoron sebesar $2,53 \pm 0,67 \text{ Bq/m}^3$ dalam ruangan-1 dengan konsentrasi maksimum dan minimum adalah $3,37 \text{ Bq/m}^3$ dan $2,22 \text{ Bq/m}^3$. Dari pengukuran pada lokasi berbeda diperoleh rerata konsentrasi anak luruh thoron yang terbesar dan terkecil masing-masing sebesar $0,83 \pm 0,23 \text{ Bq/m}^3$ dan $0,29 \pm 0,64 \text{ Bq/m}^3$, sedang nilai konsentrasi maksimum dan minimum masing-masing adalah $7,80 \text{ Bq/m}^3$ dan $0,01 \text{ Bq/m}^3$. Pylon Model WLx tidak dapat digunakan dalam jangka waktu lama dengan cakupan daerah survei yang luas secara bersamaan, sehingga masih diperlukan pengukuran menggunakan detektor pasif SSNTDs yang sangat sensitif terhadap emisi partikel alfa dan dapat mengukur konsentrasi thoron secara kumulatif.

Kata kunci : Pylon Model WLx, *thoron chamber*, thoron, anak luruh thoron

ABSTRACT

THE MEASUREMENT OF THORON (^{220}Rn) CONCENTRATION IN INDOOR AIR CONTINUOUSLY USING PYLON MODEL WLx. The concentration of thoron (^{220}Rn) in particular location can be higher than radon (^{222}Rn), however, its presence is always neglected. This might be due to the difficulties in calibration and discrimination between radon and thoron. From biokinetic and dosimetric model, it has been known that the dominant contribution of thoron to the effective dose is in the lungs. UNSCEAR estimates the doses contribution of thoron and its progenies is between 5–10% of the annual dose received by the general public and the risk level is 4.4 times greater than radon and progenies. Therefore, it is necessary to study the thoron concentration in indoor air and workplaces. Radon-thoron concentration in indoor air can be determined by direct methods using Pylon Model WLx device and passive methods using Solid State Nuclear Track Detector (SSNTDs). In this research the measurement of thoron was carried out continuously using Pylon Model WLx equipment that is sensitive to radon for 24, 65, 72, 116 and 154 hours in different rooms. The measurement result showed that the mean value of thoron working level (WL) concentration obtained in room-1 was $2.53 \pm 0.67 \text{ Bq/m}^3$ with maximum and minimum of thoron concentrations were 3.37 and 2.22 Bq/m^3 respectively. From the measurement in different locations, it was obtained that the largest and smallest average concentrations of thoron progenies were $0.83 \pm 0.23 \text{ Bq/m}^3$ and $0.29 \pm 0.64 \text{ Bq/m}^3$, while the maximum and minimum concentration values were 7.80 Bq/m^3 and 0.01 Bq/m^3 respectively. Pylon Model WLx device is not enables to be used for longer and large scale

survey area concurrently, so the SSNTDs which is sensitive to the emission of alpha particles and can measure cumulative thoron concentrations is required.

Keywords : Pylon Model WLx, thoron chamber, thoron, thoron progenies

1. PENDAHULUAN

Thoron yang dikenal juga sebagai radon-220 (^{220}Rn) adalah isotop radon yang meluruh dengan memancarkan partikel alfa pada energi 6,29 MeV dan memiliki waktu paruh 55,6 detik. Sama seperti radon-222 (^{222}Rn), thoron juga merupakan gas mulia radioaktif yang dapat bermigrasi dari dalam tanah ke atmosfer. Laju migrasi merupakan salah satu dari beberapa faktor penting yang mempengaruhi konsentrasi radon dan thoron di udara dalam ruangan, di samping karakteristik tanah permukaan sampai kedalaman sekitar 2m (1). Daerah tertutup dan tempat tinggal yang memiliki ventilasi buruk dapat memberikan peluang terjadinya akumulasi radon, thoron dan anak luruhnya.

Radon dan thoron merupakan hasil peluruhan secara alami dari bahan radioaktif alam (uranium dan thorium) yang terdapat di dalam tanah, batuan dan bahan bangunan. Radon berasal dari peluruhan ^{238}U dan thoron dari ^{232}Th . Kontribusi paparan radiasi yang berasal dari radon, thoron dan anak luruhnya pada paparan radiasi alam rerata dunia mencapai lebih dari 50% (2). Selama ini, radon (^{222}Rn dan ^{220}Rn) merupakan topik yang serius dalam banyak penelitian karena inhalasi radon telah menyebabkan terjadinya peningkatan risiko kanker paru-paru setelah rokok (3). Dari hasil beberapa penelitian epidemiologi baru-baru ini telah terungkap secara jelas korelasi positif antara konsentrasi radon dalam ruangan dengan

risiko kanker paru-paru sampai pada tingkat paparan rendah di bawah 200 Bq/m^3 (4). *World Health Organization* (WHO) mengusulkan tingkat referensi gas radon dalam ruangan berkisar $100 - 300 \text{ Bq/m}^3$ (5).

Di lingkungan alamiah, laju ekshalasi antara radon dan thoron yang diekspresikan sebagai koefisien emanasi, porositas, konsentrasi radon/thoron, dan kerapatan tanah diketahui memiliki korelasi yang kuat (1,2), dan keberadaan thoron di lingkungan tidak bisa dipisahkan dari radon. Perbedaan signifikan yang mudah diketahui antara peluruhan radon dan thoron adalah dalam hal waktu paruh dan perilaku kedua deret radionuklida ini. Thoron memiliki waktu paruh sangat singkat ($T_{1/2}=55,6$ detik) dengan anak luruhnya polonium-216 (^{216}Po , thorium A) yang juga memiliki waktu paruh sangat singkat ($T_{1/2}=0,15$ detik) dan memancarkan partikel alfa pada energi 6,78 MeV (6). Anak luruh thoron berikutnya yang memancarkan partikel alfa adalah thorium C (^{212}Bi ; $T_{1/2}=60,55$ menit dan energi 6,21 MeV), dan thorium C' (^{212}Po ; $T_{1/2}=299$ nano-detik dan energi 8,96 MeV). Radon dengan anak luruhnya radium A (^{218}Po) dan radium C' (^{214}Po) masing-masing memiliki waktu paruh 3,82 hari, 3,05 menit dan 0,16 mili-detik dengan energi partikel alfa secara berurutan adalah 5,49 MeV, 6,1 MeV dan 7,26 MeV (6). Perbedaan ini memiliki implikasi dalam melakukan pengembangan teknik untuk mendeteksi thoron dan anak luruhnya.

Konsentrasi radon dan thoron yang sangat bergantung pada karakteristik tanah dan batuan menyebabkan konsentrasi thoron pada lokasi tertentu dapat menjadi lebih besar dari konsentrasi radon (7). Selama ini, data ilmiah tentang dampak risiko dan keberadaan thoron di tempat tinggal dan daerah kerja sangat kurang, sehingga radioisotop ini terlihat kurang penting bagi kesehatan manusia. Baru-baru ini telah diusulkan suatu dokumen tentang masalah thoron, khususnya tentang pentingnya melakukan pengukuran thoron beserta tata cara pengukurannya (5,8,9). Dalam lokakarya thoron 2010 yang dilaksanakan di *National Institute of Radiological Sciences* (NIRS) Jepang, telah ditetapkan konsensus umum tentang isu thoron yang menyangkut masalah dosis dan risiko yang diabaikan, kontribusi thoron yang tidak diketahui pada saat pengukuran radon, serta kemungkinan potensi epidemiologinya (10).

Selama ini, konsentrasi thoron selalu diabaikan karena kesulitan dalam melakukan pengukuran dan kalibrasi, tidak adanya data epidemiologi lengkap tentang thoron, serta risiko thoron yang diabaikan (8). Hambatan dalam melakukan kalibrasi thoron telah diatasi dengan beroperasinya berbagai fasilitas untuk referensi thoron di beberapa negara dan dilakukannya interkomparasi. Negara-negara yang telah memiliki fasilitas *thoron chamber* adalah Jepang dengan *NIRS thoron chamber*, Jerman dengan *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB) *thoron chamber*, *New York University* (NYU) *chamber system* di New York, dan *thoron chamber* di *Technical*

University of Catalonia (11,12). Pentingnya studi untuk mengetahui konsentrasi thoron dan anak luruhnya secara terpisah dari radon baik di udara dalam rumah maupun di tempat kerja, juga didukung oleh data hasil penelitian berdasarkan pada model biokinetik dan dosimetrik yang telah dikembangkan dan dilakukan oleh J. Tschiersch dkk (13). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kontribusi dosis efektif thoron terlihat dominan di paru-paru.

Pengukuran thoron dan anak luruhnya dapat dilakukan dengan metode langsung dan metode pasif. Penentuan konsentrasi thoron secara langsung dan terus menerus dilakukan menggunakan peralatan yang dilengkapi dengan MCA (*Multichannel Analyzer*), bersifat *portable*, mudah dioperasikan dan dirancang untuk penggunaan di industri, tambang, petrokimia dan laboratorium. Pengukuran ini didasarkan pada hasil analisis peluruhan radioaktif dalam interval satu jam pengukuran dengan data energi yang didiskriminasi dalam 255 saluran dan memiliki efisiensi 22,6 %. Dalam metode pasif, digunakan prinsip pendeteksian partikel alfa. Detektor alfa yang dapat digunakan untuk tujuan ini termasuk ZnS sintilator (Ag), detektor tipe penghalang permukaan, *ionization chambers*, *electrets* dan *solid state nuclear track detectors* (SSNTDs). Jenis SSNTDs seperti *allyl diglycol carbonate* (CR-39) yang sensitif terhadap partikel alfa merupakan salah satu detektor pasif yang banyak digunakan untuk pengukuran konsentrasi gas radon di udara dalam ruangan. Detektor pasif SSNTDs menjadi pilihan karena cukup baik untuk

digunakan dalam jangka waktu panjang, sehingga konsentrasi rerata radon dan thoron yang memiliki potensi sama di lingkungan dapat diketahui. Karena radon dan thoron beserta anak luruhnya sama-sama memancarkan partikel alfa, maka setiap *track* yang terbentuk pada detektor sebagai akibat paparan yang diterima dari radon, thoron dan anak luruhnya akan sulit dibedakan (14). Hal ini berarti bahwa dalam pengukuran konsentrasi radon yang dilakukan selama ini, tidak tertutup kemungkinan thoron dan anak luruhnya juga memberikan kontribusi yang besarnya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan.

Dalam kasus memperkirakan risiko akibat paparan thoron dan anak luruhnya di udara dalam ruangan, belum ada penelitian epidemiologi perumahan yang telah dilakukan. Pengkajian risiko thoron, hanya dapat dilakukan melalui pendekatan dosimetrik berupa prakiraan dosis dan faktor risiko terkait menggunakan faktor konversi dosis yang diperoleh dari hubungan *potential alpha energy concentration* (PAEC) dari dosis radiasi anak luruh radon dan thoron. *United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation* (UNSCEAR) menggunakan pendekatan dosimetrik dengan perhitungan dosis efektif per unit *equilibrium equivalent concentration* (EEC) menggunakan persamaan [1,2] (2,15).

$$\text{EETC} = 7 \times 10^{-6} C(^{216}\text{Po}) + 0,913 C(^{212}\text{Pb}) + 0,087 C(^{212}\text{Bi}) \quad [1]$$

$$\text{EERC} = 0,105 C(^{218}\text{Po}) + 0,516 C(^{214}\text{Pb}) + 0,380 C(^{214}\text{Bi}) \quad [2]$$

Pada persamaan [1,2], *C* merupakan konsentrasi aktivitas dari isotop yang

diekspresikan dalam Bq/m³. Dari persamaan [1,2] diperoleh faktor konversi dosis untuk anak luruh thoron (DCFTn) sebesar 40 nSv per Bq jam/m³ (EETC) dan faktor konversi dosis untuk turunan radon (DCFRn) sebesar 9 nSv per Bq jam/m³ (EERC) (2). Dari hasil ini dapat dilihat perbandingan antara DCFTn terhadap DCFRn adalah 4,4 yang menunjukkan bahwa untuk periode paparan yang sama terhadap konsentrasi kesetimbangan sama dari dosis anak luruh thoron dan radon, risiko dari anak luruh thoron akan menjadi 4,4 kali lebih besar daripada risiko anak luruh radon. Lebih dari 95% dosis anak luruh thoron berada di paru-paru dan kurang dari 1% dari dosis tersebut ada pada sum-sum dan permukaan tulang (16). Mengingat tingkat risiko thoron dan anak luruhnya yang berpeluang lebih besar dari radon, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui konsentrasi thoron. Sebagian besar teknik yang digunakan berdasarkan pada deteksi dan pencacatan partikel alfa yang dipancarkan radionuklida dalam deret peluruhan ²²⁰Rn sampai ²⁰⁸Pb. Dalam penelitian ini, pengukuran konsentrasi thoron dilakukan dengan metode langsung secara terus-menerus selama jangka waktu yang ditetapkan dan terbatas. Penelitian dilakukan di udara dalam ruangan terbuka dan tertutup yang memiliki karakteristik berbeda.

2. TATA KERJA

Pengukuran konsentrasi thoron dan anak luruhnya dilakukan dengan metode aktif menggunakan alat Pylon Model WLx. Alat ini dilengkapi detektor *silicon solid-state particle* dengan efisiensi 0,22 cpm/dpm dan

dapat mengukur konsentrasi radon dan thoron secara terus-menerus dengan interval waktu selama 1 jam. Pylon Model WLx bekerja berdasarkan pada *working level system* dan sensitif terhadap radon, akan tetapi tidak menutup kemungkinan untuk dapat mencacah konsentrasi *working level* thoron. Pada detektor dipasang *fiberglass filter Whatman GF/F* yang berdiameter 25 mm dengan pori-pori sebesar $0,8\ \mu\text{m}$. Aliran udara pompa diatur sebesar 0,5 Liter/menit. Untuk mengetahui keberadaan dan fluktuasi thoron di udara dalam ruangan, dilakukan pengukuran dengan posisi alat di tengah ruangan pada ketinggian 1 meter dari permukaan lantai. Pengukuran konsentrasi thoron dilakukan pada tiga ruangan yang berbeda ukuran, kondisi dan lokasinya, yaitu Ruangan-1 (R-1) berukuran $30\ \text{m}^2$ dan Ruangan-2 (R-2) berukuran $12,5\ \text{m}^2$ dengan tinggi plafon masing-masing 3 m merupakan ruangan penelitian di NIRS yang berdinding beton, sedangkan Ruangan-3 (R-3) berukuran $7,5\ \text{m}^2$ dan tinggi plafon 2,5 m merupakan rumah penduduk di daerah Chiba (Jepang) dengan dinding dan lantai ruangan terbuat dari bahan kayu. Ruang R-1 memiliki ventilasi untuk sirkulasi udara cukup baik dan ruang R-2 memiliki ventilasi buruk karena sering dalam keadaan tertutup.

Pengukuran konsentrasi thoron dan anak luruhnya menggunakan alat Pylon Model WLx dilakukan dengan waktu *counting* yang berbeda-beda dan interval waktu selama 1 jam pada suhu ruangan $21\text{--}22\ ^\circ\text{C}$. Pengukuran di udara dalam ruang R-1 dilakukan selama 65 jam secara terus-menerus, kemudian dilanjutkan lagi pada

tempat yang sama selama 116 jam setelah selang waktu 3 jam. Pada ruangan R-2, pengukuran konsentrasi thoron dilakukan dua kali masing-masing selama 72 jam dan 24 jam. Dalam ruang R-3 pengukuran dilakukan selama 154 jam.

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran thoron, dikalibrasi di fasilitas *thoron chamber* NIRS. Ruang kalibrasi thoron yang dikembangkan NIRS terdiri dari sistem pemaparan, sistem kalibrasi, sistem pengukuran dan sistem kontrol kelembapan untuk stabilitas dan variabilitas tingkat paparan thoron. Konsentrasi thoron diukur menggunakan metode sintilasi sel tunggal dan untuk jaminan kualitas konsentrasi thoron ditentukan dengan pendekatan teoritis dan eksperimental. Pada Tabel 1 dan 2 dapat dilihat karakteristik *thoron chamber* dan data referensi thoron yang terdapat di NIRS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Batuan dan tanah yang digunakan sebagai bahan bangunan baik untuk dinding, lantai maupun untuk plafon ruangan telah diketahui mengandung berbagai radionuklida yang dapat menjadi sumber paparan radiasi, karena sebagian besar dari bahan bangunan berasal dari batu dan tanah yang pada umumnya mengandung unsur ^{238}U dan ^{232}Th (6,8,17).

Dari banyak penelitian tentang radon dan anak luruhannya di udara dalam rumah tinggal dan tempat kerja, dapat dilihat bahwa keberadaan thoron tidak dapat diabaikan begitu saja.

Tabel 1. Karakteristik *thoron chamber* NIRS (11).

Parameter	Spesifikasi
Volume ruangan	150 Liter
Ukuran (tinggi x diameter)	57 cm x 57 cm
Bahan dinding ruangan	<i>Stainless steel</i>
Sumber gas	<i>Lantern mantles</i>
Konsentrasi ^{220}Rn	0,5 – 150 kBq/m ³
Temperatur	30°C
Kelembapan relatif	5 – 60%
Tekanan udara	Tekanan udara atmosfir

Tabel 2. Referensi data paparan thoron dan kondisi lingkungan *thoron chamber* NIRS (12).

Paparan	Konsentrasi rerata thoron (kBq/m ³)	Periode paparan (jam)	Konsentrasi thoron terintegrasi (kBq/m ³ jam)	Temp (°C)	Kelembapan relatif (%)
1	29,4 ± 0,4	17	499 ± 6	31,6 ± 0,5	43,4 ± 0,3
2	29,7 ± 0,4	34	1010 ± 13	31,7 ± 0,8	43,9 ± 0,6
3	31,0 ± 0,2	65	2015 ± 12	32,1 ± 0,6	43,6 ± 0,6

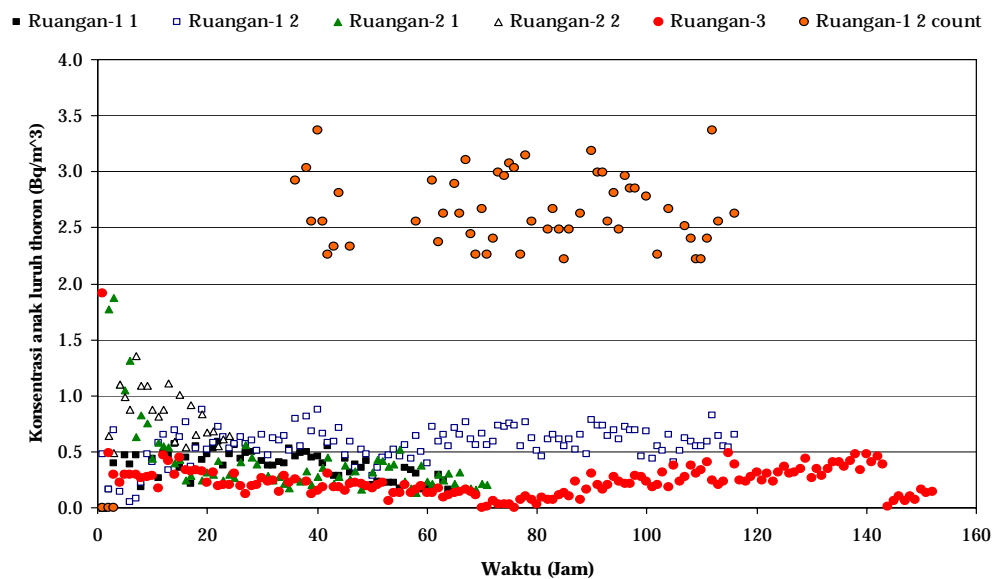
Secara umum, mekanisme masuknya thoron ke ruangan adalah konveksi melalui jalur akses utilitas, retakan atau bukaan, difusi dari tanah melalui pori bahan dan emanasi bangunan. Dari Dwivedi dkk (18) juga telah diketahui kontributor radon dan thoron dalam ruangan yang terdiri dari; i) difusi unsur-unsur bangunan 21%, ii) difusi dari bawah permukaan tanah 15%, iii) adveksi dari bawah permukaan tanah 41%, iv) infiltrasi melalui udara di luar ruangan 20%, v) de-emanasi dari pasokan air 2%, dan vi) konsumsi gas alam 1%. Hal ini didukung dari laporan rapat kelompok kerja proyek radon internasional WHO berdasarkan hasil penelitian di beberapa negara. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa paparan thoron dan dampak kesehatannya menjadi perhatian cukup serius di kalangan para fisikawan medis (19).

Konsentrasi radon dan anak luruhnya di udara dalam ruangan merupakan *potential alpha energy concentration* (PAEC) yang diekspresikan dalam *working level* atau WL (Rn). Dengan Pylon Model WLx dapat dideteksi radon dan anak luruhannya yang terdiri dari RaA (^{218}Po), RaC' (^{214}Po) dan ThC' (^{212}Po). Alat ini juga memiliki peluang untuk mendeteksi *working level* thoron atau WL (Th). Besarnya *working level* anak luruh thoron dihitung dengan Persamaan [3], yaitu total cacahan setiap jam (cph) dibagi faktor konversi (CF) yang diperoleh dari konsentrasi disintegrasi alfa (1dpm/Liter), EETC (*Equilibrium Equivalent Thoron Concentration*) yang besarnya adalah 3,631 mWL (1 mWL= 0.01652 dpm/L) dan *decay chain* thoron 64,07 % (20).

$$WL_{\text{Th}} = \frac{\text{cph}}{\text{CF}} \quad [3]$$

Salah satu radionuklida yang tercacah oleh alat merupakan anak luruh thoron yaitu ThC' (^{212}Po). Meskipun nilai cacahan ThC' relatif lebih kecil, tetapi keberadaannya perlu mendapatkan perhatian dan diperhitungkan. Rendahnya nilai cacahan ini disebabkan oleh waktu paruh ThC' (^{212}Po) yang sangat pendek ($T_{1/2}=299$ nano-detik), dan diperkirakan dosis thoron beserta anak luruhnya antara 5 dan 10% dari dosis tahunan yang diterima oleh masyarakat umum di banyak negara (2). Fluktuasi konsentrasi thoron dan anak luruhnya setiap saat ataupun setiap jam hasil pengukuran dengan interval waktu 1 jam ditunjukkan pada Gambar 1. Berbeda dengan radon, thoron tidak menunjukkan adanya

kecenderungan yang sama pada jam yang sama di hari berikutnya. Konsentrasi rerata anak luruh thoron di udara dalam ruang penelitian berukuran $12,5 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m}$ diperoleh sebesar $0,83 \pm 0,23 \text{ Bq/m}^3$. Konsentrasi ini merupakan konsentrasi rerata yang terbesar dengan waktu pengukuran selama 24 jam, sedangkan konsentrasi rerata yang terendah diperoleh sebesar $0,29 \pm 0,64 \text{ Bq/m}^3$ pada pengukuran di rumah penduduk (R-3). Nilai konsentrasi maksimum dan minimum anak luruh thoron dari keseluruhan pengukuran yang dilakukan masing-masing adalah $7,80 \text{ Bq/m}^3$ dan $0,01 \text{ Bq/m}^3$, seperti diperlihatkan pada Tabel 3.



Gambar 1. Konsentrasi anak luruh thoron dan WL thoron di udara dalam ruangan berbeda.

Tabel 3. Konsentrasi rerata anak luruh thoron di udara dalam ruangan berbeda.

Konsentrasi anak luruh thoron	Ruangan-1 (Bq/m^3)		Ruangan-2 (Bq/m^3)		Ruangan-3 (Bq/m^3)
	1	2	1	2	
Rerata	$0,37 \pm 0,12$	$0,57 \pm 0,15$	$0,49 \pm 0,81$	$0,83 \pm 0,23$	$0,29 \pm 0,64$
Maksimum	0,59	0,88	6,70	1,35	7,80
Minimum	0,14	0,05	0,13	0,49	0,01

Pada Gambar 1, konsentrasi WL_{Th} (Ruangan-1 2 count) merupakan konsentrasi thoron yang terpantau dan dihitung secara langsung oleh alat yang digunakan. Konsentrasi rerata WL_{Th} diperoleh sebesar $2,53 \pm 0,67 \text{ Bq/m}^3$ dengan nilai maksimum dan minimum masing-masing adalah $3,37 \text{ Bq/m}^3$ dan $2,22 \text{ Bq/m}^3$. Konsentrasi WL_{Th} terdeteksi secara langsung dalam pengukuran yang dilakukan selama 116 jam pada jam ke 36 di udara ruang R-1. *Working Level Th* terdeteksi setelah beberapa jam ruangan ditutup. Kondisi ini memungkinkan terjadinya akumulasi thoron yang menyebabkan konsentrasi thoron mengalami peningkatan, karena ventilasi ruangan menjadi buruk.

Dari hasil penelitian ini, terlihat bahwa anak luruh thoron dapat dipantau dengan alat yang digunakan untuk memantau radon dan anak luruhnya. Pada Tabel 4 (8, 21-26) diperlihatkan hasil pengukuran konsentrasi radon dan thoron menggunakan detektor pasif radon-thoron di beberapa negara. Dari Tabel 4 terlihat bahwa konsentrasi thoron dapat lebih besar dari konsentrasi radon

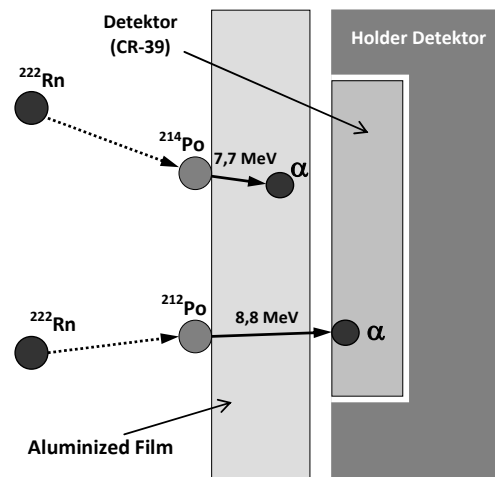
seperti hasil yang diperoleh pada penelitian yang dilakukan di Gansu dan Yangjiang Cina (8) serta di Fredericton Kanada (26).

Mengingat tingkat risiko yang ditimbulkan oleh thoron lebih besar dari radon, akhir-akhir ini telah banyak dilakukan penelitian dan pengembangan teknik pengukuran untuk mendiskriminasi antara radon dan thoron dengan menggunakan SSNTDs. Pada prinsipnya, perangkat pasif SSNTDs yang dirancang untuk pengukuran ini termasuk filter dan penghalang (*barriers*) lainnya yang digunakan. Filter dan hambatan yang memiliki derajat keefektifan berbeda, dapat menahan partikel alfa berdasarkan energinya. Energi partikel alfa yang dimiliki oleh anak luruh thoron lebih besar dari anak luruh radon. Tokonami dkk (27) telah berhasil mengembangkan RADUET yaitu detektor pasif yang dapat mendiskriminasi antara radon dengan thoron. RADUET terdiri dari dua ruangan yang berisi SSNTDs untuk mendeteksi emisi partikel alfa dari radon, thoron dan anak luruhnya.

Tabel 4. Hasil pengukuran konsentrasi radon dan thoron dalam rumah menggunakan detektor pasif radon-thoron di beberapa negara

No.	Lokasi pengukuran	Konsentrasi rerata radon (Bq/m^3), [min – maks]	Konsentrasi rerata thoron (Bq/m^3), [min – maks]
1.	Gunma, Jepang (21)	22 ± 14 , [11 – 93]	22 ± 18 , [3 – 97]
2.	Nationwide, Korea (22)	62 ± 119 , [5 – 2.841]	59 ± 113 , [LLD* – 2.285]
3.	Gansu, Cina (8)	87 ± 55 , [15 – 334]	289 ± 266 , [LLD* – 1.200]
4.	Yangjiang, Cina (8)	37 ± 44 , [3 – 284]	728 ± 640 , [13 -3.229]
5.	Ottawa, Kanada (23)	110 ± 168 , [8 – 1.525]	76 ± 139 , [1 – 924]
6.	Kovagoszolos, Hungaria (24)	208 ± 273 , [17 – 1.950]	128 ± 180 , [1 – 1.308]
7.	Winnipeg, Kanada (25)	143 ± 101 , [20 – 483]	34 ± 45 , [5 – 297]
8.	Fredericton, Kanada (26)	138 ± 213 , [16 – 1.374]	203 ± 461 , [12 – 1.977]
9.	Halifax, Kanada (26)	259 ± 475 , [4 – 2.341]	50 ± 46 , [6 – 206]

* LLD = *lower limit detection*



Gambar 2. Ilustrasi detektor pasif untuk pengukuran anak luruh thoron (27).

Pengukuran anak luruh thoron berdasarkan pada pengukuran laju deposisinya telah dikembangkan oleh Zhuo dan Iida (28) seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2. Prinsip pengukuran ini berdasarkan pada metode telanjang (*bare method*) dan hanya partikel alfa dengan energi mulai dari 8,8 MeV yang dapat terdeteksi dan melewati penyerap energi yang memiliki ketebalan sesuai. Penyerap energi yang digunakan dalam dosimeter pasif ini adalah film yang dilapisi aluminium dengan ketebalan setara dengan 71 mm udara (27).

4. KESIMPULAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Pylon model WLx pada 3 lokasi yang memiliki karakteristik berbeda. Konsentrasi rerata anak luruh thoron di udara yang terbesar dan terkecil diperoleh pada ruang penelitian berukuran $12,5 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m}$ sebesar $0,83 \pm 0,23 \text{ Bq/m}^3$ dan di udara ruangan dalam rumah penduduk yang berukuran $7,5 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m}$ sebesar $0,29 \pm 0,64 \text{ Bq/m}^3$. Nilai konsentrasi maksimum dan

minimum anak luruh thoron dari keseluruhan pengukuran yang dilakukan masing-masing adalah $7,80 \text{ Bq/m}^3$ dan $0,01 \text{ Bq/m}^3$. Pada pengukuran yang dilakukan selama 116 jam di udara dalam ruangan R-1 berukuran $30 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m}$, dapat diketahui konsentrasi rerata WL_{Th} pada jam ke 36 sebesar $2,53 \pm 0,67 \text{ Bq/m}^3$ dengan nilai maksimum dan minimum masing-masing adalah $3,37 \text{ Bq/m}^3$ dan $2,22 \text{ Bq/m}^3$.

Pylon Model WLx yang merupakan alat untuk pengukuran konsentrasi WL radon, dapat digunakan mengukur konsentrasi thoron beserta anak luruhnya. Namun alat ini tidak memungkinkan untuk digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama dan cakupan daerah survei yang luas secara bersamaan. Penggunaan detektor pasif SSNTDs dapat dijadikan alternatif untuk melakukan pemantauan konsentrasi thoron dan anak luruhnya secara kumulatif.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Hosoda M, Sorimachi A, Yasuoka Y, Ishikawa T, Sahoo SK, Furukawa M, et al. Simultaneous measurements of

- radon and thoron exhalation rate sand comparison with values calculated by UNSCEAR equation. *J Radiat Res.* 2009;50:333–43.
2. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 report to the General Assembly with annexes. New York: United Nations;2000.
3. The World Health Organization. Radon and cancer. Fact sheet No. 291. [Online]. [accessed 19 August 2009]; Available from URL:<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/index.html>
4. Tokonami S. Construction of natural radiation exposure study network. *National Institute of Radiological Sciences* May 2009-March 2012;2009.
5. The World Health Organization. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva: WHO;2009.
6. Thoron decay. [Online]. [accessed 12/5/2009]; Available from URL:<http://www.fas.harvard.edu/~scdiroff/lds/QuantumRelativity>.
7. Wiegand J, Feige S. Thoron: ignored and underestimated in the big shadow of radon – an example from China. *Geof Intern* 2002;41(3):261-4.
8. Tokonami S. Why is ^{220}Rn (thoron) measurement important?. *Radiat Prot Dosim* 2010;141(4):335–9.
9. International Atomic Energy Agency. Basic safety standard for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources (DS379). [Online]. 2010. Available from URL:<http://www-ns.iaea.org/standards/documents/drafts-ms-posted.asp>.
10. Calamosca M, Penzo S. The ENEA-IRP thoron calibration facility. *Radiat Prot Dosim* 2010;141(4):468–72.
11. Sorimachi A, Ishikawa T, Janik M, Tokonami S. Quality assurance and quality control for thoron measurement at NIRS. *Radiat Prot Dosim* 2010;141(4):367–70.
12. Bochicchio F, Ampollini M, Tommasino L, Sorimachi A, Tokonami S. Sensitivity to thoron of an SSNTD-based passive radon measuring device: experimental evaluation and implications for radon concentration measurements and risk assessment. *Radiat Meas* 2009;44:1024–27.
13. Tschiersch J, Li WB, Meisenberg O. Increased indoor thoron concentrations and implication to inhalation dosimetry. *Radiat Prot Dosim* 2007;127(1–4):73–8.
14. Akiba S, Tokonami S, Bochicchio F, McLaughlin J, Tommasino L, Harle N. Thoron: its metrology, health effects and implications for radon epidemiology: a summary of roundtable discussions. *Radiat Prot Dosim* 2010;141(4):477–81.
15. Porstendorfer J. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. *J Aerosol Sci* 1994;25:219–63.
16. McLaughlin J. An overview of thoron and its progeny in the indoor environment. *Radiat Prot Dosim* 2010;141(4):316–21.
17. Chambers DB. Thoron and decay

- products, beyond UNSCEAR 2006 Annex E. Radiat Prot Dosim 2010;141(4):351–6.
18. Dwivedi KK, Mishra R, Tripathy SP, Kulshreshtha A, Sinha D, Srivastava A, et al. Simultaneous determination of radon, thoron and their progeny in dwellings. Radiat Meas 2001;33:7-11.
19. The World Health Organization. WHO international radon project report of the 3rd meeting. April 2007. [Online]. [accessed 19 August 2009]; Available from http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/IRP_Meeting_Report-2007.pdf.
20. Working level measurement system model WLx [instruction manual], Ver. 2.1. Ottawa, Ontario, Canada: Pylon Electronic Inc.
21. Sugino M, Tokonami S, Zhuo W. Radon and thoron concentrations in offices and dwellings of the Gunma Prefecture Japan. J Radioanal Nucl Chem 2005;266:205–9.
22. Kim CK, Kim YJ, Lee HY, Chang BU, Tokonami S. ^{220}Rn and its progeny in dwellings of Korea. Radiat Meas 2007;42:1409–14.
23. Chen J, Tokonami S, Sorimachi A, Takahashi H, Falcomer R. Preliminary results of simultaneous radon and thoron tests in Ottawa. Radiat Prot Dosim 2008;130(2):253–6.
24. Kavasi N, Nemeth C, Kovacs T, Tokonami S, Jobbagy V, Varhegyi, et al. Radon and thoron parallel measurements in Hungary. Radiat Prot Dosim 2007;123(2):250–3.
25. Chen J, Schroth E, MacKinlay E, Fife I, Sorimachi A, Tokonami S. Simultaneous ^{222}Rn and ^{220}Rn measurements in Winnipeg Canada. Radiat Prot Dosim 2009;134(2): 75–8.
26. Chen J, Moir D, Pronk T, Goodwin T, Janik M, Tokonami S. An update on thoron exposure in Canada with simultaneous ^{222}Rn and ^{220}Rn measurements in Fredericton and Halifax. Radiat Prot Dosim. Advance Access published January 6, 2011, doi:10.1093/rpd/ncq567.
27. Tokonami S, Takahashi H, Kobayashi Y, Zhuo W. Up-to-date radon-thoron discriminative detector for a large scale survey. Rev Sci Instrum 2005;76:113505-1-5.
28. Zhuo W, Iida T. Estimation of thoron progeny concentrations in dwellings with their deposition rate measurements. Japan J Health Phys 2000;35:365–70.

